中华高血压杂志（中英文）
CHINESE JOURNAL OF HYPERTENSION
ISSN 1673-7245
CN 11-5540/R
主管：国家疾病预防控制局
主办：中华预防医学会
福建医科大学

甘油三酯-葡萄糖指数与夜间高血压的关联及其识别不同夜间高血压临床表型的价值

邹家亮，杜雨星，全滕皓，魏茂提，付家瑞，杨 宁，李玉明

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0269

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆维吾尔族人群甘油三酯-葡萄糖指数纵向轨迹与新发高血压的关系

中华高血压杂志. 2023, 31(10): 945-952 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.10.010

甘油三酯葡萄糖指数、甘油三酯葡萄糖体重指数、甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值与高血压患者动态血压指标的相关性

中华高血压杂志. 2025, 33(2): 171-179 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.02.011

三酰甘油-葡萄糖乘积指数与肥胖对蒙古族高血压患病的交互作用

中华高血压杂志. 2023, 31(1): 78-84 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.01.015

阻塞性睡眠呼吸暂停综合征合并高血压患者全基因组甲基化及葡萄糖转运蛋白4基因的DNA甲基化与并发糖尿病的关系

中华高血压杂志. 2024, 32(5): 453-463 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.05.009

人类免疫缺陷病毒感染者的孤立性夜间高血压：一项横断面研究

中华高血压杂志. 2024, 32(12): 1200-1200 https://doi.org/${suggestArticle.doi}

中青年夜间高血压患者醛固酮水平与估算的肾小球滤过率的相关性

中华高血压杂志. 2025, 33(10): 979-982 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0076

关注微信公众号，获得更多资讯信息

·论　著·

甘油三酯-葡萄糖指数与夜间高血压的关联及其识别不同夜间高血压临床表型的价值

邹家亮[1]，杜雨星[1]，全滕皓[2]，魏茂提[3]，付家瑞[4]，杨宁[2]，李玉明[2]
1. 天津医科大学心血管病临床学院，天津 300070；2. 天津康汇医院高血压科；3. 天津市泰达国际心血管病医院临床流行病学中心；4. 天津医科大学公共卫生学院

摘要：目的　探讨甘油三酯-葡萄糖指数(TyG 指数)与夜间高血压(NH)之间的关系，以及 TyG 指数识别不同 NH 表型的价值。**方法**　本研究收集了 2023 年 9 月至 2025 年 7 月期间，天津康汇医院高血压科就诊的 1 492 例患者资料进行横断面分析。根据 24 h 动态血压监测和是否服用抗高血压药结果分为四组：单纯夜间高血压(INH)组、日间-夜间持续性高血压组、其他 NH 组(包括正在接受降压治疗且日间血压控制达标但夜间血压升高者、NH 延续至清晨高血压者，以及老年直立性低血压合并夜间卧位高血压者)和夜间血压正常组。采集人口学资料、生活方式、病史、实验室指标并计算 TyG 指数。采用 logistic 回归评估 TyG 指数与及不同临床表型的独立关联，并进行交互与分层分析；限制性立方样条检验非线性关系；受试者操作特征(ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析评价区分价值、校准效能及临床净获益。**结果**　夜间血压正常组与 NH 各组在人口学特征、既往病史、血压参数、代谢指标上四组间总体差异显著(均 $P<0.05$)。多因素无序 logistic 回归结果显示，调整相关因素后，TyG 指数每增加 1 单位，INH、日夜持续性高血压与其他 NH 的 *OR* 分别为 7.14(95%*CI*: 4.82～10.59)、4.70(3.39～6.53)、3.99(2.88～5.51)。分层分析提示该关联在女性和年龄 ≥ 65 岁人群中更强。限制性立方样条曲线分析显示，TyG 指数与 INH 风险呈线性关系(校正后 $P_{非线性}=0.755$)，而与其他 NH 表型存在非线性递增趋势。ROC 分析表明，TyG 指数对不同 NH 类型均具有区分价值，其中对 INH 的区分效能最佳(AUC = 0.814, 95%*CI*: 0.778～0.850)。校准曲线和决策曲线支持 TyG 指数联合传统危险因素用于 NH 筛查与临床风险分层，在识别 INH 中 TyG 指数可单独使用[Brier 分数:0.167 比 0.144，净获益：0.220～0.706 比 0.280～0.713(阈值 0.200～0.700)]。**结论**　TyG 指数与多种 NH 表型均呈独立正相关，其中对 INH 的识别效能最高。该关联在女性及老年人群中更为显著，且存在非线性趋势。

关键词：　夜间高血压；　单纯夜间高血压；　临床表型；　甘油三酯-葡萄糖指数

The triglyceride-glucose index and nocturnal hypertension: association and utility for discriminating clinical phenotypes

ZOU Jialiang[1], DU Yuxing[1], QUAN Tenghao[2], WEI Maoti[3], FU Jiarui[4], YANG Ning[2], LI Yuming[2]
1. Clinical School of Cardiovascular Diseases, Tianjin Medical University, Tianjin, 300070, China; 2. Department of Hypertension, Tianjin Kanghui Hospital; 3. Center for Clinical Epidemiology, TEDA International Cardiovascular Hospital; 4. School of Public Health, Tianjin Medical University

Abstract: Objective　To investigate the association between the triglyceride-glucose (TyG) index and nocturnal hypertension (NH), and to evaluate its value for identifying different NH phenotypes. **Methods**　This cross-sectional study included 1 492 patients who visited the Hypertension Department of Tianjin Kanghui Hospital between September 2023 and July 2025. Based on 24-hour ambulatory blood pressure monitoring and antihypertensive medication use, participants were categorized into four groups: isolated nocturnal hypertension (INH), sustained day-night hypertension, other forms of NH (including treated patients with controlled daytime but elevated nighttime blood pressure, NH extending to morning hypertension, and elderly patients with orthostatic hypotension accompanied by nocturnal supine hypertension), and normal nocturnal blood pressure. Demographic characteristics, lifestyle factors, medical history, and laboratory parameters were collected to calculate the TyG index. Logistic regression was used to evaluate the independent association

doi: 10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0269
基金项目(Fund program)：中华医学会心血管病学分会临床研究专项基金 (CSCF2023A02)
通信作者(Corresponding author)：李玉明(LI Yuming)

between the TyG index and NH as well as its subtypes, followed by interaction and stratified analyses. Restricted cubic spline models were applied to assess potential non-linear relationships. Receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration plots, and decision curve analysis (DCA) were used to evaluate discriminatory performance, calibration, and clinical net benefit. **Results** Significant overall differences were observed among the four groups in demographic characteristics, medical history, blood pressure parameters, and metabolic indices (all $P < 0.05$). Multivariate ordinal logistic regression showed that after adjusting for confounders, each 1-unit increase in the TyG index was independently associated with higher odds of INH (*OR* = 7.14, 95%*CI*: 4.82 to 10.59), sustained day-night hypertension (*OR* = 4.70, 95%*CI*: 3.39 to 6.53), and other NH (*OR* = 3.99, 95%*CI*: 2.88 to 5.51). Stratified analysis indicated stronger associations in females and individuals aged ≥ 65 years. Restricted cubic spline analysis revealed a linear relationship between the TyG index and INH risk (adjusted *P* for non-linear = 0.755), while non-linear increasing trends were observed for other NH phenotypes. ROC analysis demonstrated that the TyG index had good discriminatory ability for all NH types, with the highest performance for INH (AUC = 0.814, 95%*CI*: 0.778 to 0.850). Calibration and decision curve analyses supported the use of the TyG index combined with traditional risk factors for NH screening and clinical risk stratification, and suggested that the TyG index alone was adequate for identifying INH (Brier score: 0.167 *vs*. 0.144; net benefit: 0.220 to 0.706 *vs*. 0.280 to 0.713 at thresholds of 0.200 to 0.700). **Conclusion** The TyG index is independently and positively associated with multiple NH phenotypes, with the strongest predictive value for INH. This association is more pronounced in women and older adults and demonstrates a potential non-linear pattern across different NH types.

Keywords: nocturnal hypertension; isolated nocturnal hypertension; clinical phenotype; triglyceride–glucose index

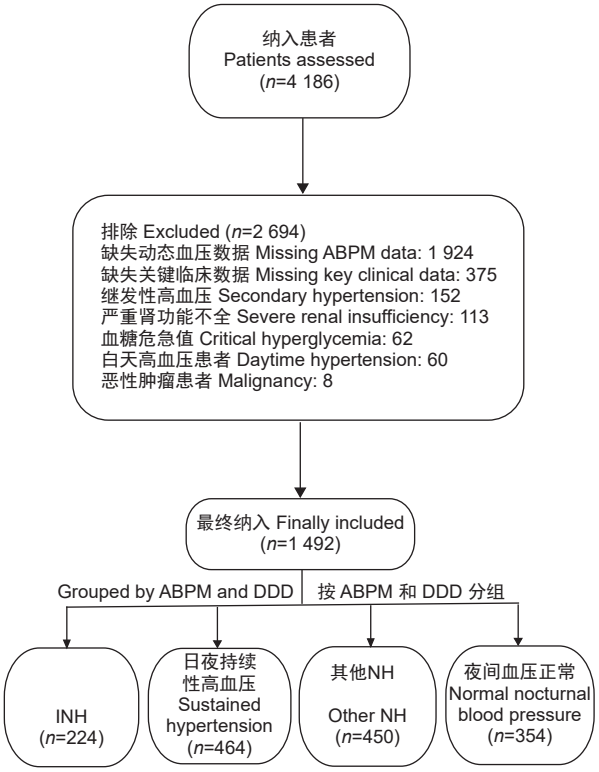
夜间高血压(nocturnal hypertension, NH)是指在 24 h 动态血压监测(ambulatory blood pressure monitoring, ABPM)中发现的夜间平均收缩压 ≥ 120 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)和/或舒张压 ≥ 70 mmHg, 不论白天血压及昼夜节律如何[1-3]。根据 NH 管理中国专家共识, NH 临床表型可分为日间-夜间持续性高血压、单纯夜间高血压(isolated nocturnal hypertension, INH)和其他 NH。其中, INH 具有隐匿性, 仅依赖诊室血压难以发现, 需 ABPM 才能确诊, 漏诊率较高[4-5]。大量研究表明, NH 是脑卒中、心力衰竭和全因死亡等心血管不良事件的独立预测因子[6-8], 此外, INH 与心血管事件风险(*HR* = 1.38; *P* = 0.037)和全因死亡(*HR* = 1.29; *P* = 0.045)显著相关[9]。ABPM 是识别 NH 及 INH 的金标准, 但在临床实践中, ABPM 的可及性、依从性及成本限制了其在大规模人群筛查中的广泛应用, 因此, 寻找能够在 ABPM 之前提示 INH 高风险个体的简便指标具有重要现实意义。

甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG 指数)由空腹甘油三酯与空腹血糖计算而得。它是衡量胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)的一种稳定且经济的替代指标和重要的心血管疾病标志物[10-12]。IR 可通过交感神经兴奋、钠潴留、血管重构等机制促进血压升高及昼夜节律异常[13-14]。既往研究已证实, TyG 指数与高血压的发生发展存在独立关联[15-16]。然而, 针对 TyG 指数与不同 NH 临床表型关系的研究仍较匮乏, 尤其是其在 INH 早期识别中的价值尚缺乏系统评估。

基于此, 本研究在高血压人群中, 采用回顾性方法收集资料进行横断面分析, 对已完成 ABPM 的高血压人群进行系统分析, 评估 TyG 指数与不同 NH 临床表型之间的关联, 并进一步检验其在 INH 识别中的预测效能, 期望为后续 ABPM 的精准应用及 NH 的早期筛查和风险分层提供新的依据。

1 对象与方法

1.1 对象 收集 2023 年 9 月至 2025 年 7 月于天津康汇医院高血压科就诊患者 1 492 例, 其中男性 858 例, 女性 634 例。根据 ABPM 和是否服用抗高血压药结果, 分为 INH 组(*n* = 224)、日夜持续性高血压组(*n* = 464)、其他 NH 组(*n* = 450)和夜间血压正常组(*n* = 354), 见图 1。纳入标准: ①年龄 ≥ 18 岁的成人患者; ②完成 ABPM 和抗高血压药负荷评估, 分为 INH、日夜持续性高血压、其他 NH 或夜间血压正常组; ③所有纳入患者均提供空腹血样, 以计算 TyG 指数。排除标准: ①继发性高血压和白天高血压患者(包括全天收缩压 ≥ 130 mmHg 和/或舒张压 ≥ 80 mmHg 及白天收缩压 ≥ 135 mmHg 和/或舒张压 ≥ 85 mmHg); ②恶性肿瘤、重度肾功能不全(血肌酐 ≥ 177 μmol/L)、血糖危急值(≥ 13.9 mmol/L); ③无法完成 ABPM 测量或关键临床数据[如体重指数(body mass index, BMI)、检验指标]缺失的患者。本研究遵照赫尔辛基宣言, 并获得天津康汇医院伦理委员会批准, 批准文号: KHYY011, 所有研究对象均同意参加本研究并签署知情同意书。



注：NH 为夜间高血压；INH 为单纯夜间高血压；ABPM 为 24 h 动态血压监测；DDD 为日定义剂量。

Abbreviations: ABPM: 24-hour ambulatory blood pressure monitoring; DDD, defined daily dose; NH, nocturnal hypertension; INH, isolated nocturnal hypertension.

图 1　受试者纳排流程

Figure 1　Flowchart of participant selection

1.2　方法

1.2.1　一般资料收集　通过查阅病历记录符合入选标准的患者的临床资料，包括患者的性别、年龄、既往史（血脂异常、糖尿病、冠心病、脑血管疾病）、服药史［ABPM 前抗高血压药负荷量［采用日定义剂量（defined daily dose, DDD）进行标准化计算］、甘油三酯测量前降血脂药服用情况、血糖测量前降血糖药服用情况］、吸烟史（定义为受试者连续或累计 6 个月平均每日抽烟 ≥ 1 支）[17] 和饮酒史（定义为受试者连续或累计 6 个月平均每周饮酒 ≥ 1 次）[18]（吸烟史和饮酒史均来源于病历系统中的标准化问诊记录，由经过统一培训的医务人员按统一定义采集），测量身高、体重（均为受试者在入院当天由医务人员现场测量并记录于病历系统），并计算出相应的 BMI：BMI = 体重（kg）/身高^2（m^2）。

1.2.2　实验室检查　在 ABPM 前后 1 周内，所有受试者均在至少空腹 8 h 状态下采集肘静脉血，使用天津康汇医院血液分析仪，检测空腹血糖、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇（low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C）、高密度脂蛋白胆固醇（high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）、血肌酐、血尿酸。

1.2.3　24 h ABPM　采用符合国际验证标准的便携式动态血压监测仪（型号：Mobil-O-Graph NG）进行测量，要求患者佩戴袖带后保持日常活动并记录睡眠时间与异常事件日志。监测持续至少 24 h，日间（07:00—22:00）每 30 min、夜间（22:00—07:00）每 1 h 自动测量血压。计算夜间均值时采用的睡眠时段是固定时段（22:00—07:00）。数据有效性标准为：收缩压 70～250 mmHg、舒张压 40～150 mmHg、脉压 20～150 mmHg，且有效读数 ≥ 总测量次数的 80%。无效数据超过 20% 或连续 3 次测量失败者需 7 d 内复测。原始数据经配套软件分析后人工复核异常曲线，确保结果可靠性。

1.2.4　分组　亚洲 NH 管理专家共识和我国 NH 管理专家共识中[1-2]，根据 ABPM 和 DDD 情况，又可以将 NH 分为日间-夜间持续性高血压（日夜持续性高血压）、INH、其他 NH 三类。日夜持续性高血压定义为日间平均收缩压/舒张压 ≥ 135/85 mmHg，夜间平均收缩压/舒张压 ≥ 120/70 mmHg；INH 定义为未服药情况下，ABPM 夜间平均收缩压/舒张压 ≥ 120/70 mmHg，而日间血压未达高血压标准；其他 NH：正在接受药物治疗，日间平均收缩压/舒张压＜135/85 mmHg，但夜间平均收缩压/舒张压 ≥ 120/70 mmHg（314 例）；NH 延续至清晨高血压的个体：夜间平均收缩压/舒张压 ≥ 120/70 mmHg，且清晨血压（06:00—08:00）收缩压 ≥ 135 mmHg 和/或舒张压 ≥ 85 mmHg（94 例）；老年直立性低血压合并夜间卧位高血压者：年龄 ≥ 65 岁，站立 1～3 min 内收缩压下降 ≥ 20 mmHg 和/或舒张压下降 ≥ 10 mmHg，同时夜间卧位收缩压 ≥ 140 mmHg 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg（42 例）。夜间血压正常定义为未服用药物情况下，夜间收缩压/舒张压＜120/70 mmHg，且全天收缩压/舒张压＜130/80 mmHg 和白天收缩压/舒张压＜135/85 mmHg。抗高血压药负荷：根据世界卫生组织 ATC/DDD 分类系统（https://atcddd.fhi.no/atc_ddd_index/）计算抗高血压药的 DDD 总和，作为药物使用强度的量化指标[19]。其中，INH 组与夜间血压正常组的患者均为未服用药或停药 ≥ 4 周的受试者［停药 ≥ 4 周的受试者占比：INH 组 7 例（3.1%），夜间血压正常组 22 例（6.2%）］。

1.2.5　TyG 指数、TyG-BMI 指数　TyG 指数是一个反映 IR 程度的简便指标，由空腹甘油三酯和空腹血糖计算而来。公式（常用版本）：TyG 指数 = ln［甘油三酯 (mg/dL) × 空腹血糖 (mg/dL)/2］，如果甘油三酯和空腹血糖是以 mmol/L 计量，需要先换算为 mg/dL（甘油三酯 × 88.57，空腹血糖 × 18）。TyG-BMI 指数 = TyG 指数 × BMI。

1.3　统计学方法　本研究以横断面数据探讨 TyG 指

数与 NH 的关联。第一,对连续变量进行正态性检验,对正态分布的变量采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用方差分析;对非正态分布的变量采用中位数(P_{25}, P_{75})表示,组间比较采用非参数检验(Kruskal-Wallis 检验)。分类变量以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。第二,以夜间血压正常组为参照,构建 logistic 回归模型评估 TyG 指数与 NH(二分类)及不同临床表型(无序多分类)的独立关联,结合临床和单因素分析挑选协变量,并计算方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF),分三步建立模型:①粗模型(只纳入 TyG 指数);②调整人口学因素和生活方式;③进一步调整临床变量。第三,为检验人群异质性,在主模型中加入 TyG 指数与性别、年龄、BMI、吸烟和饮酒交互项似然比检验(likelihood-ratio test, LRT),并做性别、年龄、BMI、吸烟和饮酒的分层分析。第四,采用限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)曲线检验 TyG 指数与 INH、日夜持续性高血压、其他 NH、NH 的非线性关系(调整性别、年龄、吸烟、饮酒、BMI、糖尿病、血脂异常)。第五,比较 TyG 指数与 TyG-BMI 指数区分 NH 及不同临床表型的价值,绘制受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),基于约登指数确定截断值并计算灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值。第六,校准曲线检验“TyG 指数”和“TyG 指数 + 基线模型”。“基线模型”为参考 Jaeger 等[20] 的 NH 基线模型、Narita 等[21] 的 NH AUC 和门诊打分细则以及 Vickers 等[22] 的决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)方法学,基于常规临床危险因素重新拟合构建的多因素 logistic 回归模型,变量选择参考既往研究,回归系数与截距均由本研究数据获得;“TyG 指数 + 基线模型”为在多因素 logistic 回归框架下,基于传统临床危险因素构建基线模型,并在此基础上将 TyG 指数以连续变量形式纳入,重新估计回归系数,形成 TyG 指数与传统危险因素的联合模型。第七,采用 DCA 比较“TyG 指数”“基线模型”“TyG 指数 + 基线模型”的净获益,阈值概率范围预设 0.05～1.00,净获益的计算以“全部不干预(treat-none)”策略作为参照,并同时与“全部干预(treat-all)”策略进行对照。所有统计分析采用 SPSS(版本 27.0.1)、R(版本 4.4.2)及 Rstudio(版本 2024.12.1 + 563)完成,双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 NH 及不同临床表型患者的基线特征 本研究共纳入 1 492 例患者,NH 患者 1 138 例。按 ABPM 和是否抗高血压治疗结果分为:夜间血压正常组(n = 354)、INH 组(n = 224)、日夜持续性高血压(n = 464)及其他 NH 组(n = 450)。四组在人口学、既往病史、血压参数与代谢指标上总体差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。总体上,夜间血压正常组研究对象的年龄、BMI、吸烟/饮酒比例、合并症及血压参数均低于或少于其他三组;实验室检查显示,与夜间血压正常组相比,NH 各组的空腹血糖、甘油三酯、TyG 指数、总胆固醇、LDL-C 与尿酸水平均较高(表 1)。

2.2 TyG 指数与 NH 及不同临床表型的 logistic 回归分析 以夜间血压正常为参照,多因素无序 logistic 回归分析显示:在模型 1 中,TyG 指数每升高 1 个单位,INH、日夜持续性高血压与其他 NH 的 *OR*(95%*CI*)分别为 8.41(6.17～11.48)、5.61(4.29～7.35)、4.48(3.43～5.85)(均 $P<0.001$,见表 2)。在调整人口学与生活方式(模型 2)及进一步调整临床变量(模型 3)后,关联依旧有统计学意义,模型 3 中 *OR* 分别为 7.14、4.70、3.99(均 $P<0.001$)。多因素二分类 logistic 回归分析结果显示:TyG 指数每升高 1 个单位,NH 的 *OR* 为 4.73。

2.3 TyG 指数与 NH 及不同临床表型患病风险的分层分析 在性别、年龄、吸烟、饮酒与 BMI 各亚组内,TyG 指数升高与不同 NH 风险均呈正相关(均 $OR>1$, $P<0.001$),但关联强度存在人群异质性:在女性与年龄 ≥ 65 岁人群中关联更强(表 3)。

2.4 TyG 指数与 NH 及不同临床表型患病风险的非线性关系 RCS 曲线分析结果显示:在粗模型下,TyG 指数与 INH 的关系近似线性($P_{非线性}$ = 0.891),而与日夜持续性高血压、其他 NH 及 NH 存在非线性关系($P_{非线性}$分别为 0.003、0.001、0.002),见图 2。在调整模型(校正性别、年龄、吸烟、饮酒、BMI、糖尿病、血脂异常)中,非线性结论保持一致(均 $P_{非线性}<0.001$),见图 3。

2.5 TyG 指数与 TyG-BMI 指数对 NH 及不同临床表型的区分价值 ROC 曲线结果显示:TyG 指数和 TyG-BMI 指数均可用于区分不同类型 NH 的发生。TyG 指数的 AUC 范围为 0.742～0.814,高于 TyG-BMI 指数(0.710～0.732)。其中,INH 的 AUC 最高(TyG: 0.814, TyG-BMI: 0.732),见图 4。

2.6 TyG 指数对 NH 及不同临床表型的 ROC 分析结果 TyG 指数对 NH 的判别力为中等(AUC 0.742～0.814)。在识别 INH 时效果最好(0.814),最佳截断值 8.62,灵敏度 0.763、特异度 0.726、阴性预测值 0.829。用于总体 NH 的筛查时,最佳截断值约 8.44,灵敏度 0.780、特异度 0.644、阳性预测值 0.876、阴性预测值 0.477(表 4)。

表 1　NH 及不同临床表型患者的基线特征

Table 1　Baseline characteristics of patients with NH and different clinical phenotypes

组别 Group	例数 *n*	年龄(岁) Age(years)	男性[*n*(%)] Male	BMI (kg/m^2)	吸烟[*n*(%)] Smoking	饮酒[*n*(%)] Drinking
夜间血压正常 Normal nocturnal BP	354	45.76±16.50	173 (48.9)	25.01±3.88	81 (22.9)	60 (16.9)
INH	224	56.73 ±14.54	113 (50.4)	26.25±3.42	65 (29.0)	58 (25.9)
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	464	52.22±12.37	302 (65.1)	26.76±3.85	159 (34.3)	159 (34.3)
其他NH Other forms of NH	450	53.89±13.62	270 (60.0)	26.65±3.55	142 (31.6)	134 (29.8)
NH[a]	1 138	53.77±13.40	685 (60.2)	26.62±3.65	366 (32.2)	351 (30.8)
$\chi^2/F/H$值		34.000	27.428	17.979	13.196	31.849
*P*值		＜0.001	＜0.001	＜0.001	0.004	＜0.001

组别 Group	血脂异常[*n*(%)] Dyslipidemia	糖尿病[*n*(%)] Diabetes	冠心病[*n*(%)] CHD	脑血管疾病[*n*(%)] Cerebrovascular disease	全天收缩压(mmHg) 24-hour SBP	全天舒张压(mmHg) 24-hour DBP
夜间血压正常 Normal nocturnal BP	96 (27.1)	12 (3.4)	11 (3.1)	7 (2.0)	115.40±6.93	68.97±6.47
INH	135 (60.3)	33 (14.7)	25 (11.2)	7 (3.1)	126.52±5.27	77.92±4.52
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	231 (49.8)	69 (14.9)	24 (5.2)	9 (1.9)	147.35±11.04	98.05±8.80
其他 NH Other forms of NH	200 (44.4)	45 (10.0)	24 (5.3)	24 (5.3)	127.85±10.63	84.10±7.71
NH[a]	566 (49.7)	147 (12.9)	73 (6.4)	40 (3.5)	135.54±14.00	88.57±11.23
$\chi^2/F/H$值	71.131	32.399	17.393	10.855	834.045	1 089.198
*P*值	＜0.001	＜0.001	＜0.001	0.013	＜0.001	＜0.001

组别 Group	白天收缩压(mmHg) Daytime SBP	白天舒张压(mmHg) Daytime DBP	夜间收缩压(mmHg) Nighttime SBP	夜间舒张压(mmHg) Nighttime DBP
夜间血压正常 Normal nocturnal BP	120.00 (114.00, 124.00)	73.00 (68.00, 77.00)	108.00 (103.00, 111.75)	63.00 (59.00, 66.00)
INH	127.00 (123.00, 130.00)	79.00 (75.00, 82.00)	126.00 (122.00, 131.00)	77.00 (73.00, 83.00)
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	146.00 (140.00, 155.00)	98.00 (92.00, 105.00)	143.00 (131.75, 151.00)	92.00 (87.00, 100.00)
其他 NH Other forms of NH	128.00 (122.00, 134.00)	86.00 (81.00, 91.00)	122.00 (115.00, 131.00)	81.00 (74.25, 86.00)
NH[a]	134.00 (126.00, 145.00)	89.00 (81.00, 97.00)	130.00 (121.25, 143.00)	85.00 (77.00, 92.00)
$\chi^2/F/H$值	964.305	1 041.824	956.385	1 058.558
*P*值	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001

组别 Group	DDD*	降血脂药[*n*(%)] Lipid-lowering drugs	降血糖药[*n*(%)] Antidiabetic drugs	空腹血糖(mmol/L) FBG	甘油三酯(mmol/L) TG	TyG指数 TyG index
夜间血压正常 Normal nocturnal BP	0	0	6 (1.7)	4.90 (4.50, 5.30)	0.91 (0.72, 1.48)	8.33±0.59
INH	0	22 (9.8)	26 (11.6)	5.34 (4.92, 6.18)	2.11 (1.30, 3.53)	9.12±0.64
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	0	20 (4.3)	58 (12.5)	5.50 (4.92, 6.18)	1.58 (1.14, 2.34)	8.94±0.67
其他NH Other forms of NH	1.0 (0.5, 2.0)	19 (4.2)	32 (7.1)	5.10 (4.70, 5.76)	1.58 (1.15, 2.27)	8.84±0.61
NH[a]	0 (0, 1.0)	61 (5.4)	116 (10.2)	5.35 (4.80, 6.00)	1.65 (1.16, 2.47)	8.93±0.65
$\chi^2/F/H$值	914.645	33.943	35.550	123.306	215.198	93.390
*P*值	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001

组别 Group	总胆固醇(mmol/L) TC	HDL-C (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)	肌酐 (μmol/L) Creatinine	尿酸(μmol/L) Uric acid
夜间血压正常 Normal nocturnal BP	4.50 (3.90, 5.01)	1.16 (1.00, 1.42)	2.75±0.79	66.21±14.74	344.60±99.84
INH	4.62 (4.14, 5.29)	1.16 (1.00, 1.37)	2.93±0.83	68.12±16.18	358.49±108.37
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	4.70 (4.09, 5.22)	1.06 (0.93, 1.24)	2.99±0.83	66.82±14.93	363.89±89.84
其他NH Other forms of NH	4.60 (4.10, 5.13)	1.04 (0.92, 1.22)	2.91±0.81	69.17±17.30	370.94±99.86
NH[a]	4.61 (4.10, 5.20)	1.07 (0.93, 1.26)	2.95±0.82	68.01±16.17	365.61±97.72
$\chi^2/F/H$值	11.454	55.489	6.130	2.834	5.001
*P*值	0.010	＜0.001	＜0.001	0.037	0.002

注：正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，非正态分布的计量资料采用中位数(P_{25}, P_{75})表示。NH为夜间高血压；INH为单纯夜间高血压；BMI为体重指数；DDD为日定义剂量；TyG指数为甘油三酯-葡萄糖指数；HDL-C为高密度脂蛋白胆固醇；LDL-C为低密度脂蛋白胆固醇。[a]NH组未纳入组间比较检验。*抗高血压药DDD。

Continuous variables with a normal distribution are expressed as ($\bar{x}\pm s$), while non-normally distributed continuous variables are expressed as median (P_{25}, P_{75}). Abbreviations: NH, nocturnal hypertension; BP, blood pressure; INH, isolated nocturnal hypertension; BMI, body mass index; CHD, coronary heart disease; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; DDD, defined daily dose; FBG, fasting blood glucose; TG, triglycerides; TyG index, triglyceride-glucose index; TC, Total cholesterol; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol. [a] The NH group was not included in intergroup comparison tests. *Antihypertensive drugs DDD.

表 2 TyG 指数与 NH 及其不同临床表型的关系的 logistic 回归分析(n = 1 492)

Table 2 logistic regression analysis for the relationship of TyG index with NH and different clinical phenotypes

模型 Model	因变量 Dependent variable	TyG指数每增加1个单位 Per 1-unit increase in TyG index					
		*B*值	*SE*	Waldχ^2值	*P*值	*OR*值	95%*CI*
1	组别 Group						
	正常夜间血压[a] Normal nocturnal blood pressure					1.00	
	INH	2.130	0.158	180.592	＜0.001	8.41	6.17～11.48
	日夜持续性高血压 Sustained hypertension	1.725	0.137	157.635	＜0.001	5.61	4.29～7.35
	其他NH Other forms of NH	1.500	0.136	121.856	＜0.001	4.48	3.43～5.85
	组别 Group						
	正常夜间血压[b] Normal nocturnal blood pressure					1.00	
	NH	1.697	0.125	184.468	＜0.001	5.46	4.27～6.97
2	组别 Group						
	正常夜间血压[a] Normal nocturnal blood pressure					1.00	
	INH	2.024	0.164	152.540	＜0.001	7.57	5.49～10.43
	日夜持续性高血压 Sustained hypertension	1.596	0.143	123.945	＜0.001	4.93	3.73～6.53
	其他NH Other forms of NH	1.381	0.142	94.372	＜0.001	3.98	3.01～5.26
	组别 Group						
	正常夜间血压[b] Normal nocturnal blood pressure						
	NH	1.579	0.131	144.813	＜0.001	4.85	3.75～6.27
3	组别 Group						
	正常夜间血压[a] Normal nocturnal blood pressure					1.00	
	INH	1.966	0.201	95.665	＜0.001	7.14	4.82～10.59
	日夜持续性高血压 Sustained hypertension	1.548	0.167	85.759	＜0.001	4.70	3.39～6.53
	其他NH Other forms of NH	1.383	0.165	69.976	＜0.001	3.99	2.88～5.51
	组别 Group						
	正常夜间血压[b] Normal nocturnal blood pressure						
	NH	1.553	0.149	108.779	＜0.001	4.73	3.53～6.33

注：TyG指数为甘油三酯-葡萄糖指数；NH为夜间高血压；INH为单纯夜间高血压。模型1为粗模型，模型2校正年龄(连续)、性别(男性或女性)、吸烟(是或否)、饮酒(是或否)、体重指数(连续)；模型3在模型2的基础上进一步校正糖尿病(是或否)、血脂异常(是或否)、服用降血糖药(是或否)、服用降血脂药(是或否)、总胆固醇(连续)、高密度脂蛋白胆固醇(连续)、低密度脂蛋白胆固醇(连续)、肌酐(连续)、尿酸(连续)。[a]夜间血压正常组与INH、日夜持续性高血压、其他NH为多因素无序的logistic回归，[b]夜间血压正常组与NH组为多因素二分类logistic回归。

Abbreviations: TyG index, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; INH, isolated nocturnal hypertension. Model 1 is the unadjusted model. Model 2 is adjusted for age (continuous), sex (male or female), smoking (yes or no), drinking (yes or no), and body mass index (continuous). Model 3 is further adjusted for diabetes (yes or no), dyslipidemia (yes or no), use of glucose-lowering drugs (yes or no), use of lipid-lowering drugs (yes or no), total cholesterol (continuous), high-density lipoprotein cholesterol (continuous), low-density lipoprotein cholesterol (continuous), serum creatinine (continuous), and uric acid (continuous). [a] Multivariate multinomial logistic regression was performed comparing the normal nighttime blood pressure group with INH, day-night sustained hypertension, and other NH. [b] Multivariate binary logistic regression was performed comparing the normal nighttime blood pressure group with the NH group.

2.7 “TyG 指数”和“TyG 指数 + 基线模型”的校准曲线验证 采用 1000 次自助法对模型进行内部验证。TyG 指数单独模型在区分 INH 时校准最佳(平均绝对误差 0.007，90% 绝对误差 0.013)。在以传统临床危险因素构建的多因素 logistic 回归基线模型基础上，进一步将 TyG 指数作为连续协变量纳入模型，构建联合模型后，校准曲线在四个任务中更贴近理想线，乐观偏倚减小(图 5)；相应的 Brier 分数分别由 0.167、0.196、0.204、0.149 降至 0.144、0.173、0.184、0.134(相对下降 9.8%～13.9%)，标准化 Brier 提升至 0.393、0.294、0.251、0.261(表 5)。

2.8 TyG 指数与 NH 及不同临床表型的决策曲线 DCA 结果显示：在阈值概率 0.20～0.70 的临床可接受范围内，与单用 TyG 指数或基线模型相比，基线模型 + TyG 指数联合模型在四个判别任务中均取得更高的标准化净获益，其中对日夜持续性高血压与非 INH 优势最为稳定且幅度更大(分别为 0.253～0.855 和 0.259～0.820)；而在 INH 的识别上，TyG 指数单独已能提供与联合模型相近的临床净获益(分别为 0.220～0.706 和 0.280～0.713)(图 6)。

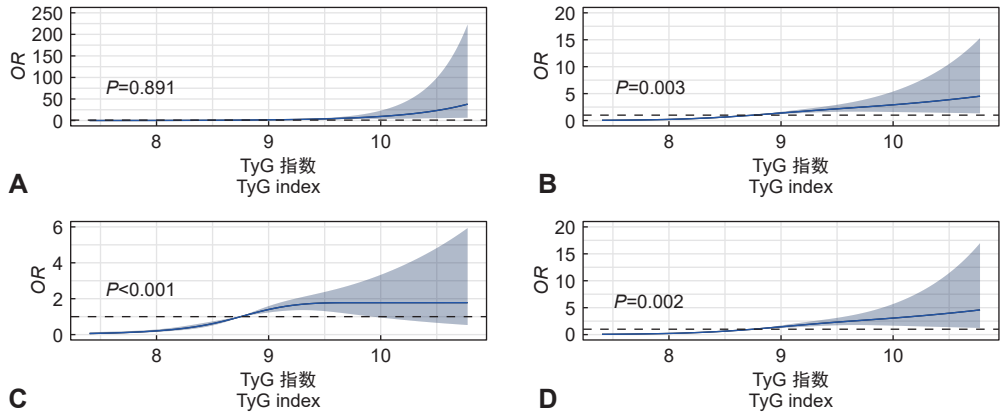
表 3　TyG 指数与 NH 及不同临床表型关系的分层分析

Table 3　Stratified analysis of the relationship of TyG index with NH and different clinical phenotypes

因变量* Dependent variable	分层 Stratification	亚组 Subgroup	患病例数 *n*	总例数 *N*	Tyg指数每增加1个单位 Per 1-unit increase In TyG index	
					OR (95%*CI*)	*P*值
INH	性别 Sex	女性 Female	111	292	16.92 (8.66～33.05)	＜0.001
		男性 Male	113	286	4.87 (2.87～8.24)	＜0.001
	年龄(岁) Age (years)	＜65	153	442	5.95 (3.75～9.45)	＜0.001
		⩾ 65	71	136	14.81 (5.97～36.75)	＜0.001
	BMI	＜24 kg/m^2	62	203	3.69 (1.84～7.37)	＜0.001
		⩾ 24 kg/m^2	162	375	9.81 (5.98～16.10)	＜0.001
	吸烟 Smoking	否 No	159	432	7.37 (4.59～11.82)	＜0.001
		是 Yes	65	146	8.13 (3.79～17.45)	＜0.001
	饮酒 Drinking	否 No	166	460	7.84 (4.96～12.38)	＜0.001
		是 Yes	58	118	6.05 (2.61～14.02)	＜0.001
日夜持续性高血压 Sustained hypertension	性别 Sex	女性 Female	162	343	10.54 (5.82～19.07)	＜0.001
		男性 Male	302	475	3.39 (2.21～5.20)	＜0.001
	年龄(岁) Age (years)	＜65	382	671	3.66 (2.54～5.29)	＜0.001
		⩾ 65	82	147	12.28 (5.09～29.62)	＜0.001
	BMI	＜24 kg/m^2	114	255	7.01 (3.70～13.28)	＜0.001
		⩾ 24 kg/m^2	350	563	4.26 (2.86～6.34)	＜0.001
	吸烟 Smoking	否 No	305	578	5.66 (3.78～8.50)	＜0.001
		是 Yes	159	240	3.63 (1.99～6.63)	＜0.001
	饮酒 Drinking	否 No	305	471	4.99 (3.40～7.32)	＜0.001
		是 Yes	159	219	3.92 (1.98～7.76)	＜0.001
其他NH Other forms of NH	性别 Sex	女性 Female	180	361	10.48 (5.85～18.77)	＜0.001
		男性 Male	270	443	2.51 (1.64～3.86)	＜0.001
	年龄(岁) Age(years)	＜65	346	635	2.78 (1.93～4.01)	＜0.001
		⩾ 65	104	169	16.58 (6.99～39.32)	＜0.001
	BMI	＜24 kg/m^2	97	238	5.83 (3.05～11.12)	＜0.001
		⩾ 24 kg/m^2	353	566	3.70 (2.50～5.48)	＜0.001
	吸烟 Smoking	否 No	308	581	4.65 (3.13～6.91)	＜0.001
		是 Yes	142	223	3.17 (1.73～5.79)	＜0.001
	饮酒 Drinking	否 No	316	482	4.60 (3.15～6.72)	＜0.001
		是 Yes	134	194	2.85 (1.44～5.66)	＜0.001
NH	性别 Sex	女性 Female	453	634	11.58 (6.80～19.70)	＜0.001
		男性 Male	685	858	3.16 (2.14～4.65)	＜0.001
	年龄(岁) Age (years)	＜65	881	1170	3.53 (2.54～4.89)	＜0.001
		⩾ 65	257	322	14.20 (6.43～31.38)	＜0.001
	BMI	＜24 kg/m^2	273	414	5.51 (3.19～9.51)	＜0.001
		⩾ 24 kg/m^2	865	1078	4.52 (3.16～6.47)	＜0.001
	吸烟 Smoking	否 No	772	1045	5.48 (3.83～7.85)	＜0.001
		是 Yes	366	447	3.87 (2.26～6.65)	＜0.001
	饮酒 Drinking	否 No	787	1081	5.24 (3.73～7.34)	＜0.001
		是 Yes	351	411	3.69 (1.96～6.95)	＜0.001

注：TyG指数为甘油三酯-葡萄糖指数；NH为夜间高血压；INH为单纯夜间高血压；BMI为体重指数。调整变量包括年龄(连续)、性别(男性或女性)、吸烟(是或否)、饮酒(是或否)、BMI(连续)、糖尿病(是或否)、血脂异常(是或否)、服用降血糖药(是或否)、服用降血脂药(是或否)、总胆固醇(连续)、高密度脂蛋白胆固醇(连续)、低密度脂蛋白胆固醇(连续)、肌酐(连续)、尿酸(连续)。*夜间血压正常组与INH、日夜持续性高血压、其他NH为多因素无序的logistic回归，与NH组为多因素二分类logistic回归。

Abbreviations:TyG index, triglyceride-glucose index; INH, isolated nocturnal hypertension; BMI, body mass index; NH, nocturnal hypertension. Adjusted variables included age (continuous), sex (male or female), smoking (yes or no), drinking (yes or no), body mass index (continuous), diabetes (yes or no), dyslipidemia (yes or no), use of glucose-lowering drugs (yes or no), use of lipid-lowering drugs (yes or no), total cholesterol (continuous), high-density lipoprotein cholesterol (continuous), low-density lipoprotein cholesterol (continuous), serum creatinine (continuous), and uric acid (continuous). * Multivariate multinomial logistic regression was performed comparing the normal nighttime blood pressure group with INH, day-night sustained hypertension, and other NH, whereas multivariate binary logistic regression was performed comparing the normal nighttime blood pressure group with the NH group.

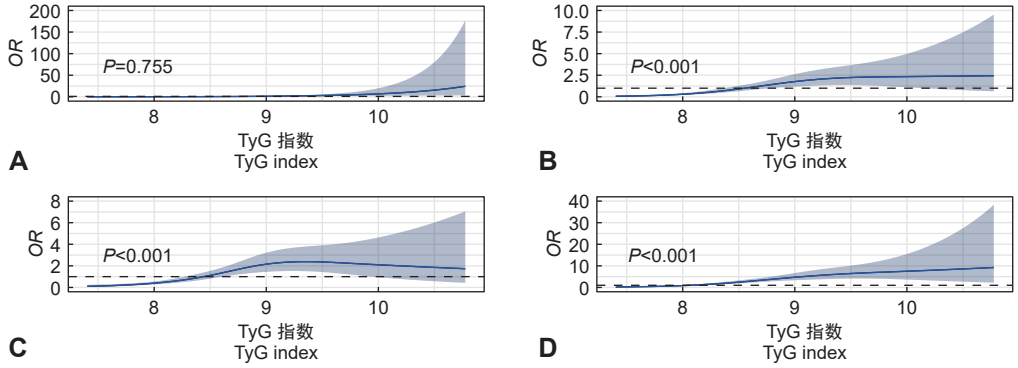


注: A, INH 比夜间血压正常; B, 日夜持续性高血压比夜间血压正常; C, 其他 NH 比夜间血压正常; D, NH 比夜间血压正常。TyG 指数为甘油三酯-葡萄糖指数; NH 为夜间高血压; INH 为单纯夜间高血压。蓝色区域为 95%*CI*。

A, INH *vs* normal nocturnal blood pressure; B, Sustained hypertension *vs* normal nocturnal blood pressure; C, Other forms of nocturnal hypertension *vs* normal nocturnal blood pressure; D, NH *vs* normal nocturnal blood pressure. Abbreviations: TyG, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; INH, isolated nocturnal hypertension. Blue shading indicates the 95%*CI*.

图 2 TyG 指数与 NH 及不同临床表型患病风险关系的限制立方样条曲线(n = 1 492)

Figure 2 Restricted cubic spline analyses of the association between the TyG index and the risk of NH and different clinical phenotypes



注: A, INH 比夜间血压正常; B, 日夜持续性高血压比夜间血压正常; C, 其他 NH 比夜间血压正常; D, NH 比夜间血压正常。TyG 指数为甘油三酯-葡萄糖指数; NH 为夜间高血压; INH 为单纯夜间高血压。蓝色区域为 95%*CI*。校正性别、年龄、吸烟、饮酒、体重指数、糖尿病、血脂异常。

A, INH *vs* normal nocturnal blood pressure; B, Sustained hypertension *vs* normal nocturnal blood pressure; C, Other forms of nocturnal hypertension *vs* normal nocturnal blood pressure; D, NH *vs* normal nocturnal blood pressure. Abbreviations: TyG, triglyceride–glucose index; NH, nocturnal hypertension; INH, isolated nocturnal hypertension. Blue shading indicates the 95%*CI*. Adjusted for sex, age, smoking, alcohol consumption, body mass index, diabetes, and dyslipidemia.

图 3 TyG 指数与 NH 及不同临床表型患病风险关系的限制立方样条曲线(调整, n = 1 492)

Figure 3 Restricted cubic spline analyses of the association between the TyG index and the risk of NH and different clinical phenotypes after adjustment

3 讨 论

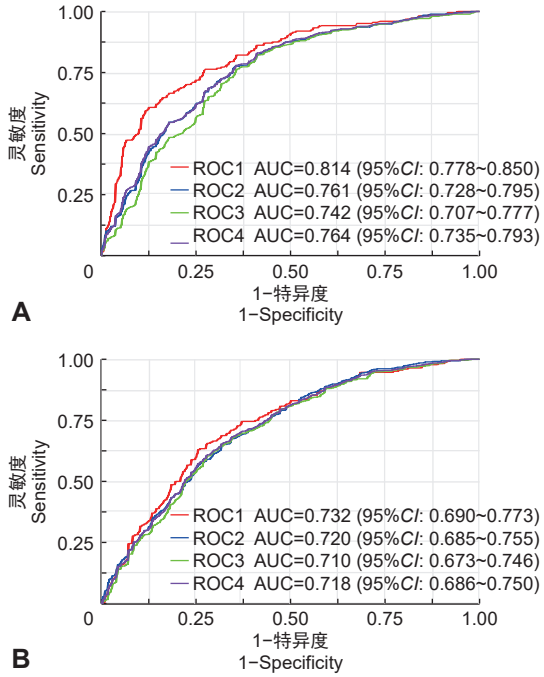
本研究在较大样本的 NH 人群中系统评估了 TyG 指数与 NH 各临床表型的关联, 结果显示 TyG 指数与 INH、日夜持续性高血压及其他 NH 均呈独立正相关, 且在 INH 识别中的区分效能最高。这一发现不仅验证了 TyG 指数在血压异常中的作用, 也在分型水平上揭示其潜在的应用价值。

既往研究主要关注 TyG 指数与心血管疾病风险的相关性, 一项纳入 12 项队列研究(n = 6 354 990)的荟萃分析结果显示[23], 与低分位组相比, 高分位 TyG 指数组心血管疾病发病风险更高(HR = 1.46, 95%*CI*: 1.23～1.74), TyG 指数与心血管疾病之间存在非线性关联($P_{非线性}$ = 0.061)。少数研究探讨了 TyG-BMI 指数与 NH 的关系[24], 但缺乏对 NH 不同表型的系统评估。在同一人群中比较 TyG 指数与 TyG-BMI 指数后, 本文观察到 TyG 指数的判别性能更优。可能原因包括: 本队列中 BMI 分布相对集中, 附加信息有限; 同

时，BMI 对内脏脂肪的表征不如腰围、身高腰围比敏感，与 TyG 指数所表征的 IR 存在信息重叠。就外推性而言，本研究受试者的 BMI 主要分布在 25.01～26.76 kg/m^2，与全国数据(24.4 kg/m^2)相比偏高[25]，提示存在一定地域偏倚，可能影响绝对风险估计的可迁移性。因此，TyG 指数作为仅基于常规化验的指标，更便捷且表现稳定，具有更好的筛查/分层应用潜力。同时，本研究在较大样本中明确了 TyG 指数与 NH 各临床表型的非线性关系，并发现性别、年龄、BMI 及饮酒对关联强度存在修饰作用，这提示不同人群的代谢特征可能影响 NH 风险。例如，女性和老年人群表现出更强的关联，可能与其对 IR 及内皮功能异常更敏感有关。

IR 是连接 TyG 指数与夜间血压异常的重要病理桥梁。首先，IR 可以激活交感神经系统，引起血管收缩以及心输出量增加，从而导致夜间血压升高[26-27]。其次，高胰岛素血症可以促进肾小管钠的重吸收，增加夜间液体潴留，加重夜间血压负荷[28-29]。此外，IR 还可以引起内皮功能障碍和炎症反应，减少一氧化氮的生物利用度，增加动脉僵硬度，破坏正常的昼夜血压节律[30-31]。这些机制的共同作用可能解释了本研究中 TyG 指数与 NH 显著相关的结果。TyG 指数被广泛认为是 IR 的一个优秀替代标志物。IR 是 2 型糖尿病、代谢综合征和心血管疾病的“共同土壤”。相比于复杂的金标准检测方法(如高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术)，TyG 指数经济、便捷，非常适合在临床和大规模筛查中使用。TyG 指数与代谢综合征存在协同作用，TyG 指数高的人，往往同时存在肥胖(尤其是腹型肥胖)、血脂异常、高血糖等代谢紊乱。这些因素协同促进动脉硬化与炎症反应，从而进一步加重夜间血压升高。

TyG 指数与高血压具有显著关联。一项纳入 32 项研究的国际系统评价显示，TyG 指数与高血压风险增加相关(*RR* = 1.52, 95%*CI*: 1.25～1.85)[32]。中国一项回顾性队列研究(n = 15 056)结果显示，与 TyG 指数轨迹低度增加组相比，中度增加和高度增加组与高血压风险增加相关，*OR*(95%*CI*)分别为 1.38(1.23～1.54)和 1.69(1.40～2.02)，且表现为女性高于男性[33]。研究发现，TyG 指数与 INH 关联更强，主要源于 INH 患者在睡眠期更明显的交感神经激活及盐敏感/钠潴留：为完成“压力性利钠”，机体需在夜间维持相对更高的血压负荷[34-35]。高盐摄入与夜间血压升高的独立关联亦被最新研究证实，进一步强化了“IR-交感激活-钠潴留”通路在 INH 中的关键作用[36-37]。在本队列中，TyG 指数对 INH 的辨别能力最佳(AUC 为 0.814，最佳截断值为 8.62；敏感度为 0.763，特异度为 0.726，阴性预测值为 0.829)。据此，我们提出以 TyG 指数 ≥ 8.62 作为门诊首筛阈值，并且在女性及年龄 ≥ 65 岁人群中优先安排 ABPM。校准曲线和 DCA 结果表明，TyG 指数具有可接受的校准与整体预测能力；在所有 NH 表型上，“基线模型 + TyG 指数”模型具有更优的整体准确性与更稳健的校准性能以及临床净获益，支持其用于临床风险分层与筛查；而在识别 INH 时，TyG 指数单独亦能提供良好的校准表现和可接受的临床效益。



注：A，TyG 指数区分夜间高血压及不同临床表型的 ROC 曲线；B，TyG-BMI 指数区分夜间高血压及不同临床表型的 ROC 曲线。ROC1，夜间正常血压比 INH；ROC2，夜间正常血压比日夜持续性高血压；ROC3，夜间正常血压比其他 NH；ROC4，夜间正常血压比 NH。TyG 指数为甘油三酯-葡萄糖指数；NH 为夜间高血压；ROC 为受试者操作特征；AUC 为曲线下面积；BMI 为体重指数；INH 为单纯夜间高血压。

A, ROC curves of the TyG index for discriminating nocturnal hypertension and different clinical phenotypes; B, ROC curves of the TyG-BMI index for discriminating nocturnal hypertension and different clinical phenotypes; ROC1, nighttime normotension *vs*. INH; ROC2, nighttime normotension *vs*. sustained hypertension; ROC3, nighttime normotension *vs*. other forms of NH; ROC4, nighttime normotension *vs*. NH. Abbreviations: TyG, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; ROC, receiver operating characteristic; AUC, area under the curve; BMI, body mass index; INH, isolated nocturnal hypertension.

图 4　TyG 指数和 TyG-BMI 指数区分 NH 及其临床表型的 ROC 曲线(n = 1 492)

Figure 4　ROC curves of the TyG index and TyG-BMI index for discriminating NH and its clinical phenotypes

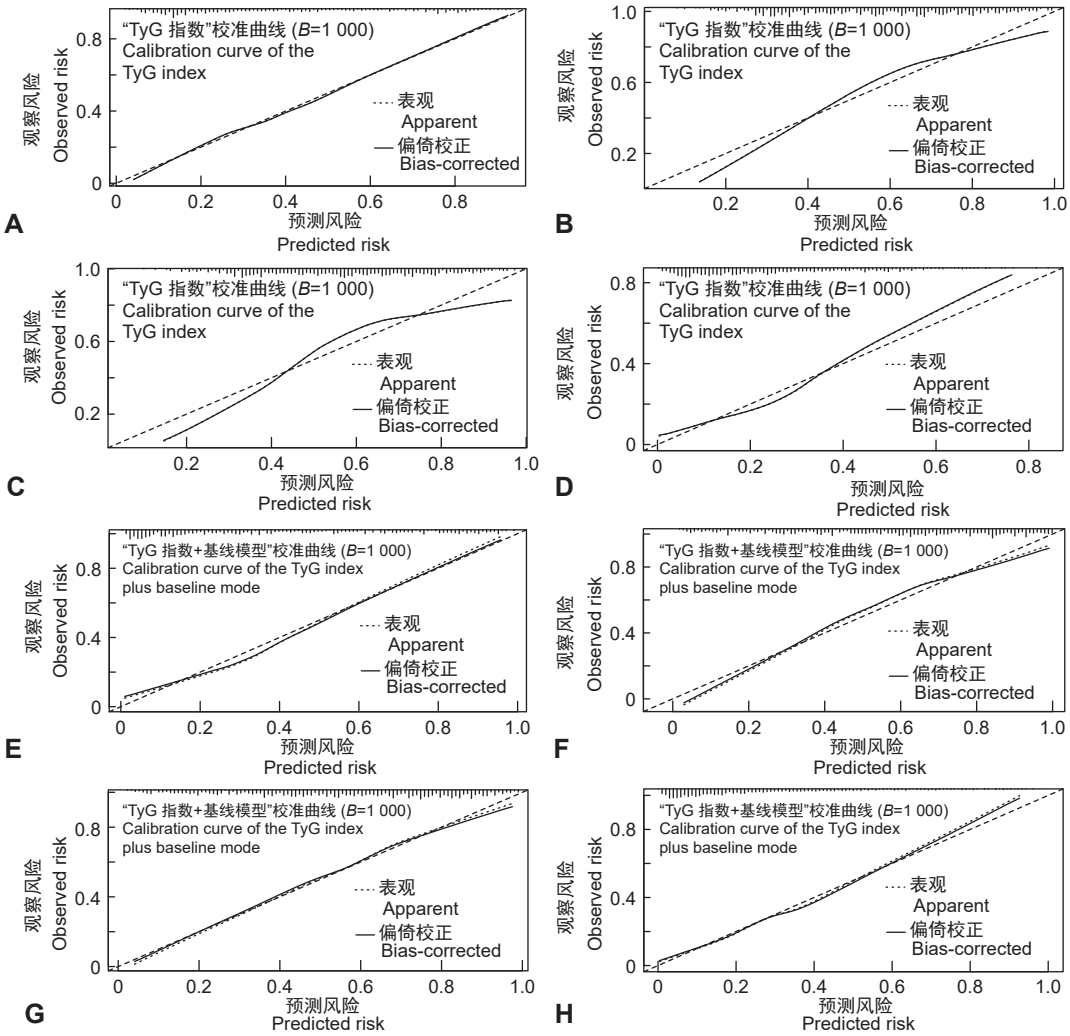
表 4 TyG 指数区分 NH 及其临床表型的 ROC 曲线分析结果(n = 1 492)

Table 4 ROC curve analysis of the TyG index for discriminating NH and its clinical phenotypes

ROC	AUC(95%*CI*)	乐观偏倚 Optimism	校正AUC Adjusted AUC	最佳截断值 Optimal cutoff value	灵敏度 Sensitivity	特异度 Specificity	阳性预测值 PPV	阴性预测值 NPV
ROC1	0.814(0.778～0.850)	−0.000 046	0.814	8.62	0.763	0.726	0.638	0.829
ROC2	0.761(0.728～0.795)	−0.000 800	0.762	8.46	0.776	0.647	0.742	0.688
ROC3	0.742(0.707～0.777)	−0.000 188	0.742	8.34	0.820	0.590	0.718	0.721
ROC4	0.764(0.735～0.793)	−0.000 544	0.765	8.44	0.780	0.644	0.876	0.477

注：ROC1, 夜间正常血压比INH; ROC2, 夜间正常血压比日夜持续性高血压; ROC3, 夜间正常血压比其他夜间高血压; ROC4, 夜间正常血压比NH。TyG指数为甘油三酯-葡萄糖指数; NH为夜间高血压; ROC为受试者操作特征; INH为单纯夜间高血压; AUC为曲线下面积。

ROC1, nighttime normotension *vs*. INH; ROC2, nighttime normotension *vs*. sustained hypertension; ROC3, nighttime normotension *vs*. other forms of NH; ROC4, nighttime normotension *vs*. NH. Abbreviations: ROC, receiver operating characteristic; TyG, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; AUC, area under the curve; PPV, positive predictive value; NPV, negative predictive value; INH, isolated nocturnal hypertension.



注：A 和 E, 夜间正常血压比 INH (n = 578); B 和 F, 夜间正常血压比日夜持续性高血压 (n = 818); C 和 G, 夜间正常血压比其他 NH(n = 804); D 和 H, 夜间正常血压比 NH (n = 1 492)。TyG 指数为甘油三酯-葡萄糖指数; INH 为单纯夜间高血压; NH 为夜间高血压。

A and E: normotensive nocturnal blood pressure *vs*. isolated nocturnal hypertension (n = 578); B and F: normotensive nocturnal blood pressure *vs*. sustained day–night hypertension(n = 818); C and G: normotensive nocturnal blood pressure *vs*. other nocturnal hypertension (n = 804); D and H: normotensive nocturnal blood pressure *vs*. nocturnal hypertension (n = 1 492). Abbreviations: TyG index, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; INH, isolated nocturnal hypertension.

图 5 "TyG 指数"和"TyG 指数 + 基线模型"的校准曲线

Figure 5 Calibration curves comparing the TyG index alone and the TyG index combined with the baseline mode

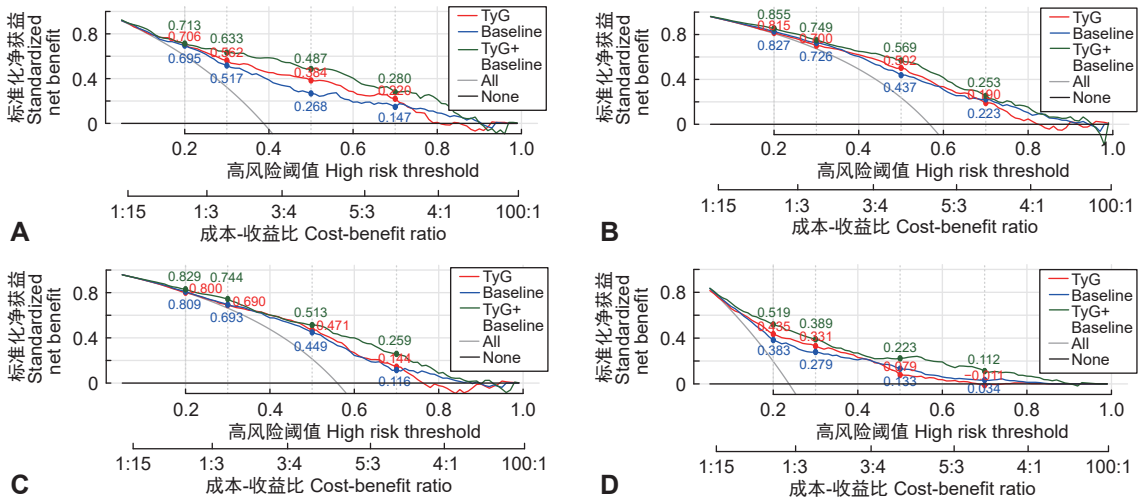
表 5　“TyG 指数”和“TyG 指数 + 基线模型”的校准曲线分析(B = 1 000)

Table 5　Calibration curve analysis of the TyG index and the TyG index plus baseline model

序号 ID	n	模型 Model	平均绝对误差 Mean absolute error	90% 绝对误差 90% absolute error	Brier(95%*CI*)	标准化Brier Scaled Brier(95%*CI*)
A	578	TyG指数 TyG index	0.007	0.013	0.167(0.183～0.208)	0.295(0.226～0.368)
		TyG指数 + 基线模型 TyG index + baseline model	0.019	0.040	0.144(0.126～0.161)	0.393(0.321～0.468)
B	818	TyG指数 TyG index	0.036	0.061	0.196(0.183～0.208)	0.203(0.150～0.251)
		TyG指数 + 基线模型 TyG index + baseline model	0.031	0.051	0.173(0.159～0.187)	0.294(0.239～0.352)
C	804	TyG指数 TyG index	0.048	0.076	0.204(0.192～0.216)	0.170(0.124～0.216)
		TyG指数 + 基线模型 TyG index + baseline model	0.012	0.029	0.184(0.172～0.197)	0.251(0.200～0.303)
D	1 492	TyG指数 TyG index	0.025	0.041	0.149(0.138～0.160)	0.178(0.138～0.214)
		TyG指数 + 基线模型 TyG index + baseline model	0.013	0.026	0.134(0.123～0.145)	0.261(0.217～0.302)

注：A, 夜间正常血压比INH; B, 夜间正常血压比日夜持续性高血压; C, 夜间正常血压比其他 NH; D, 夜间正常血压比NH。TyG指数为甘油三酯-葡萄糖指数; INH为单纯夜间高血压; NH为夜间高血压。

A, normal nighttime blood pressure *vs*. INH; B, normal nighttime blood pressure *vs*. sustained hypertension; C, normal nighttime blood pressure *vs*. other NH; D, normal nighttime blood pressure *vs*. NH. Abbreviations: TyG index, triglyceride-glucose index; INH, isolated nocturnal hypertension; NH, nocturnal hypertension.



注：A, 单纯夜间高血压; B, 日夜持续性高血压; C, 其他 NH; D, NH。TyG 为甘油三酯-葡萄糖指数; NH 为夜间高血压; Baseline 为基线模型; TyG + Baseline 为 TyG 指数 + 基线模型; All 为全部干预; None 为全部不干预。

A, INH; B, Sustained hypertension; C, Other forms of NH; D, NH. Abbreviations: TyG, triglyceride-glucose index; NH, nocturnal hypertension; Baseline, baseline model; TyG + Baseline, TyG index plus the baseline model; All, intervention in all; None, no intervention.

图 6　TyG 指数与 NH 及其临床表型决策曲线 (n = 1 492)

Figure 6　Decision curve analysis evaluating the predictive value of the TyG index for NH and its clinical phenotypes

本研究的局限性主要体现：第一，本研究为单中心横断面设计，因而在因果推断方面存在一定局限，无法明确 TyG 指数与不同 NH 之间的因果关系，同时，研究样本来源单一，健康患者样本量相对有限，结果的外部可推广性仍需在更大规模的前瞻性及多中心研究中进一步验证；第二，TyG 指数基于一次性实验室检查，可能受短期生活方式或药物因素影响；第三，未纳入部分可能影响夜间血压的因素(如睡眠质量、阻塞性睡眠呼吸暂停、盐敏感性等)，可能存在残余混杂，未来研究将进一步完善相关量表资料，以更全面地评估其在 TyG 指数与 NH 关系中的调节作用；第四，本研究未给出临床阈值或再分类指标，需要在前瞻性队列中进一步量化增量判别与再分类价值；第五，由于本研究部分受试者未检测空腹胰岛素水平，导致胰岛素抵抗的稳态模型评估指数数据缺失，未来研究将进一步采集完整的胰岛素数据，以验证 TyG 指数相较稳态模型评估胰岛素抵抗指数的独特优势和适用性。

综上，TyG 指数与 INH、日夜持续性高血压及其

他 NH 均呈独立正相关,且在 INH 识别中表现出更高的区分度。在常规门诊,可以用 TyG 指数来早期筛选需进一步行 ABPM 的人群,特别是女性与老年人。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 邹家亮、杨宁、李玉明构思了本研究;邹家亮和杨宁负责研究设计;邹家亮、杜雨星、全滕浩负责数据收集和分析;初稿由邹家亮完成;邹家亮、魏茂提、付家瑞、杨宁、李玉明参与文章的批判性审阅和修改,并确认最终版本

本主题国内外已有的结论

• TyG 指数升高与心血管疾病发生风险显著相关,与高血压风险增加独立相关。

本文特色与见解

• TyG 指数与 INH、日夜持续性高血压、其他 NH 均呈独立正相关,其中对 INH 的鉴别效能最高。结果在多因素调整、分层分析及非线性模型中均保持稳健。对 INH 在传统危险因素基础上加入 TyG 指数可改善模型的预测效能与临床净获益。

参考文献

[1] Liu J, Li Y, Asayama K, et al. Asian expert consensus on NH management[J]. Hypertension, 2025, 82(6): 945-956.
[2] 中国高血压联盟《夜间高血压管理中国专家共识》委员会. 夜间高血压管理中国专家共识[J]. 中华高血压杂志, 2023, 31(7): 610-618.
[3] Joint Committee for Guideline Revision. 2018 Chinese guidelines for prevention and treatment of hypertension-a report of the Revision Committee of Chinese Guidelines for prevention and treatment of hypertension[J]. J Geriatr Cardiol, 2019, 16(3): 182-241.
[4] Cheng Y, Li Y, Wang J. Ambulatory blood pressure monitoring for the management of hypertension[J]. Chin Med J (Engl), 2022, 135(9): 1027-1035.
[5] Barochiner J, Díaz RR, Martínez R. Prevalence and characteristics of isolated nocturnal hypertension and masked nocturnal hypertension in a tertiary hospital in the city of buenos aires[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(8): 1-15.
[6] Kario K, Hoshide S, Nagai M, et al. Sleep and cardiovascular outcomes in relation to NH: the J-HOP nocturnal blood pressure study[J]. Hypertens Res, 2021, 44(12): 1589-1596.
[7] Kario K, Williams B. NH and heart failure: mechanisms, evidence, and new treatments[J]. Hypertension, 2021, 78(3): 564-577.
[8] Yousefalizadeh S, Esmaili H, Jafarnejad S. A narrative review on the interplay between blood pressure, anxiety/depression, and probiotics: unraveling the underlying mechanisms[J]. Heart and Mind, 2024, 8(3): 194-205.
[9] Fan HQ, Li Y, Thijs L, et al. Prognostic value of isolated nocturnal hypertension on ambulatory measurement in 8711 individuals from 10 populations[J]. J Hypertens, 2010, 28(10): 2036-2045.
[10] Tao LC, Xu JN, Wang TT, et al. Triglyceride-glucose index as a marker in cardiovascular diseases: landscape and limitations[J]. Cardiovasc Diabetol, 2022, 21(1): 68.
[11] Li W, Shen C, Kong W et al. Association between the triglyceride glucose-body mass index and future cardiovascular disease risk in a population with cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stage 0–3: a nationwide prospective cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2024, 23(1): 1-11.
[12] Che B, Zhong C, Zhang R, et al. Triglyceride-glucose index and triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio as potential cardiovascular disease risk factors: an analysis of UK biobank data[J]. Cardiovasc Diabetol, 2023, 22(1): 34.
[13] Miroslawska AK, Gjessing PF, Solbu MD, et al. Metabolic effects two years after renal denervation in insulin resistant hypertensive patients. The Re-Shape CV-risk study[J]. Clin Nutr, 2021, 40(4): 1503-1509.
[14] Brown A, Gandy S, McCrimmon R, et al. A randomized controlled trial of dapagliflozin on left ventricular hypertrophy in people with type two diabetes: the DAPA-LVH trial[J]. Eur Heart J, 2020, 41(36): 3421-3432.
[15] Huang Z, Ding X, Yue Q, et al. Triglyceride-glucose index trajectory and stroke incidence in patients with hypertension: a prospective cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2022, 21(1): 141.
[16] Huang Y, Zhou Y, Xu Y, et al. Inflammatory markers link triglyceride-glucose index and obesity indicators with adverse cardiovascular events in patients with hypertension: insights from three cohorts[J]. Cardiovasc Diabetol, 2025, 24(1): 11.
[17] GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. Lancet, 2020, 396(10258): 1223-1249.
[18] Hao G, Wang X, Chen Z et al. Prevalence of heart failure and left ventricular dysfunction in China: the China hypertension survey, 2012–2015[J]. Eur J Heart Fail, 2019, 21(11): 1329-1337.
[19] Drucker AM, Hollestein L, Na Y, et al. Association between antihypertensive medications and risk of skin cancer in people older than 65 years: a population-based study[J]. CMAJ, 2021, 193(15): E508-E516.
[20] Jaeger BC, Booth JN 3rd, Butler M, et al. Development of predictive equations for NH and nondipping systolic blood pressure[J]. J Am Heart Assoc, 2020, 9(2): e013696.
[21] Narita K, Hoshide S, Ae R, et al. Simple predictive score for NH and masked NH using home blood pressure monitoring in clinical practice[J]. J Hypertens, 2022, 40(8): 1513-1521.
[22] Vickers AJ, Van Calster B, Steyerberg EW. Net benefit approaches to the evaluation of prediction models, molecular markers, and diagnostic tests[J]. BMJ, 2016, 352(6): 1-5.
[23] Liu X, Tan Z, Huang Y, et al. Relationship between the triglyceride-glucose index and risk of cardiovascular diseases and mortality in the general population: a systematic review and meta-analysis[J]. Cardiovasc Diabetol, 2022, 21(1): 124.
[24] 王志军, 张士博, 刘杰, 等. 高血压患者三酰甘油葡萄糖体质量指数与夜间高血压的相关性分析[J]. 中国全科医学, 2025, 28(18): 2212-2221.
[25] Wang L, Zhou B, Zhao Z, et al. Body-mass index and obesity in urban and rural China: findings from consecutive nationally representative surveys during 2004–2018[J]. Lancet, 2021, 398(10294): 53-63.
[26] Kachur S, Morera R, De Schutter A, et al. Cardiovascular risk in

patients with prehypertension and the metabolic syndrome[J]. Curr Hypertens Rep, 2018, 20(2): 15.
[27] Camargo PF, Ditomaso-Luporini L, Tinoco Arêas GP, et al. Impact of obstructive sleep apnea on cardiac autonomic control during the respiratory sinus arrhythmia maneuver in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. Heart and Mind, 2023, 7(2): 80-88.
[28] Franklin SS, O'Brien E, Staessen JA. Masked hypertension: understanding its complexity[J]. Eur Heart J, 2017, 38(15): 1112-1118.
[29] Feng T, Ou Q, Shan G, et al. Sleep-disordered breathing and metabolic syndrome across gender, age, and sleep subtypes in East Asians[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2025, 16: 1519638.
[30] Stewart NR, Heiston EM, Miller SL, et al. Role of blood pressure responses to exercise and vascular insulin sensitivity with nocturnal blood pressure dipping in metabolic syndrome[J]. J Vasc Res, 2022, 59(3): 151-162.
[31] Nolde JM, Kiuchi MG, Lugo-Gavidia LM, et al. NH: a common phenotype in a tertiary clinical setting associated with increased arterial stiffness and central blood pressure[J]. J Hypertens, 2021, 39(2): 250-258.
[32] Nayak SS, Kuriyakose D, Polisetty LD, et al. Diagnostic and prognostic value of triglyceride glucose index: a comprehensive evaluation of meta-analysis[J]. Cardiovasc Diabetol, 2024, 23(1): 310.
[33] Xin F, He S, Zhou Y, et al. The triglyceride glucose index trajectory is associated with hypertension: a retrospective longitudinal cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2023, 22(1): 347.
[34] Mallamaci F, Torino C, Tripepi G. Hypertension burden in CKD: is NH the primary culprit?[J]. Clin Kidney J, 2025, 18(9): sfaf229.
[35] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟 (中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版)[J]. 中华高血压杂志 (中英文), 2024, 32(7): 603-700.
[36] 杨雅涵, 黄刚. 夜间高血压伴射血分数保留型心力衰竭的研究进展[J]. 中华高血压杂志 (中英文), 2025, 33(9): 828-840.
[37] Maruhashi T, Kinoshita Y, Ozono R, et al. Association between estimated daily salt intake from spot urine and nocturnal blood pressure in hypertensive patients under antihypertensive treatment[J]. Am J Hypertens, 2025, 38(10): 818-825.

收稿日期: 2025-08-26　**修回日期**: 2025-11-10
录用日期: 2025-12-01　**责任编辑**: 罗晓惠

·预　告·

“学术争鸣”题目预告

- 左心室辅助装置植入后心力衰竭患者可否停用治疗心力衰竭的相关药物？[2026 年 9 月 1 日]
- 控制夜间高血压是否对心力衰竭有益处，该如何处理及管理？[2026 年 10 月 1 日]
- 心率升高是否为去肾神经术的高血压患者交感神经激活的生物标志物？[2026 年 11 月 1 日]
- 如何看待血压昼夜节律与阻塞性睡眠呼吸暂停的关系？[2026 年 12 月 1 日]
- 高龄妊娠期高血压疾病患者怀孕期间血压管理和药物选择探讨[2027 年 1 月 1 日]
- 昼夜作息不规律的高血压患者何时服用何种降压药最佳？[2027 年 2 月 1 日]
- 醛固酮合成酶抑制剂和甾体类盐皮质激素受体拮抗剂，哪个更适合原发性醛固酮增多症的降压治疗？[2027 年 3 月 1 日]
- 高血压一旦服药就要终身服药吗？[2027 年 4 月 1 日]
- 肥胖伴有夜间高血压的射血分数保留的心力衰竭患者如何综合处理及管理？[2027 年 5 月 1 日]
- 醛固酮合成酶抑制剂能否与肾素-血管紧张素系统抑制剂合用？[2027 年 6 月 1 日]

注：方括号内时间为截稿日期。参与本栏目讨论的稿件请发送到我刊邮箱(zhgxyzz@vip.126.com)。